

Artigo Técnico

Caracterização de solos residuais para infiltração de efluente de estação de tratamento de esgoto

Characterization of residual soils for infiltration of reclaimed water

Flora Silva¹, Paulo Sergio Scalize², Karla Alcione da Silva Cruvinel³, Antonio Albuquerque⁴

RESUMO

Os efeitos das alterações climáticas e a crescente demanda de água para os variados consumos vão levar ao reúso de águas residuárias tratadas (ART). A recarga de aquíferos com ART pode constituir uma alternativa para o restabelecimento de volumes de água subterrânea que poderão ser utilizados para satisfazer parte daquelas atividades, especialmente em regiões de escassez de água ou onde sua qualidade não é adequada para uso. Uma pesquisa de dois anos realizada na estação de tratamento de esgoto de Vila Fernando (Guarda, Portugal) mostrou que as características das ART são adequadas para que o efluente seja infiltrado no solo visando à recarga de aquífero. Como a área em estudo é vasta e dada a necessidade de considerar várias restrições técnicas, ambientais e econômicas, foi aplicada uma análise multicritério baseada em Sistemas de Informação Geográfica para encontrar o local mais adequado para a infiltração de ART. Recolheu-se uma amostra de solo para análise, na Quinta de Gonçalo Martins (Guarda, Portugal), tendo os resultados indicado que tal solo apresentava características favoráveis à infiltração de ART.

Palavras-chave: águas residuárias tratadas; Sistemas de Informação Geográfica; reúso de água; solos residuais.

ABSTRACT

The effects of climate change and the increasing demand of water for domestic, industrial and agricultural uses will lead to the use of treated wastewater (reclaimed water). The aquifer recharge with reclaimed water can be an alternative for restoring volumes of water to aquifers, which may afterwards be used to satisfy those demands, especially in regions with water scarcity or where water presents poor quality. A two-year research conducted in the sewage treatment plant of Vila Fernando (Guarda, Portugal) has shown that the characteristics of reclaimed water are adequate to be infiltrated into the soil for aquifer recharge. As the study area for infiltration was very large and it was necessary to consider several technical, environmental and economic constraints, a multi-criteria analysis based on Geographic Information Systems was used in order to find the most suitable site for reclaimed water infiltration. Soil sample was collected at Quinta Gonçalo Martins (Guarda, Portugal) for analysis, and the results have indicated that the site has favorable characteristics for reclaimed water infiltration.

Keywords: reclaimed water; Geographic Information Systems; water reuse; residuals soils.

INTRODUÇÃO

A crescente prática de reúso de águas residuárias tratadas (ART) vem sendo motivada essencialmente pela necessidade de proteção dos meios hídricos receptores dos efluentes de estações de tratamento de esgoto (ETE) e pela sua escassez, podendo ser decorrente de uma situação natural ou não, exemplificada respectivamente pelo clima da região ou como consequência do crescimento demográfico e do desenvolvimento socioeconômico. Para Monte e Albuquerque (2010) há a necessidade de uma gestão sustentável

dos recursos hídricos, na qual se inclui a conservação da água e o reúso de ART representa uma componente estratégica importante. Os recursos hídricos subterrâneos são uma relevante fonte de abastecimento urbano, industrial e agrícola, no entanto, quando são sobre-explorados, os volumes extraídos não são compensados pela recarga de aquíferos, provocando rebaixamento acentuado do seu nível, o que pode levar à sua contaminação por água do mar ou fontes de poluição difusa (RIGHETTO & ROCHA, 2005; WERNER, 2010).

¹Doutora em Engenharia Civil pela Universidade da Beira Interior (UBI). Professora-adjunta Convidada do Departamento de Construções Cívicas e Planeamento da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Bragança (IPB) - Bragança, Portugal.

²Doutor em Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (USP).

Professor Associado da Escola de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Goiás (UFG) - Goiânia (GO), Brasil.

³Doutora em Ciências Ambientais pela UFG. Professora da Escola de Engenharia Civil e Ambiental da UFG - Goiânia (GO), Brasil.

⁴Doutor em Engenharia Civil pela UBI. Professor Auxiliar no Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura da UBI - Covilhã, Portugal.

Endereço para correspondência: Flora Silva - Departamento de Construções Cívicas e Planeamento, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia - 5300-253 - Bragança, Portugal - E-mail: flora@ipb.pt

Recebido: 14/10/14 - **Aceito:** 28/04/16 - **Reg. ABES:** 141677

Em Portugal, algumas regiões do Nordeste, Sul e Beira Interior, particularmente em áreas áridas e semi-áridas, apresentam déficit de água nos meses de verão e anos secos, levando à sobre-exploração de aquíferos para satisfazer às demandas domésticas, industriais e agrícolas. No Brasil, as áreas mais afetadas pelo déficit de água são o nordeste e o norte de Minas Gerais. Além disso, um levantamento realizado por Opkala (2011) concluiu que, dos 645 municípios, 310 dependem exclusivamente de captações subterrâneas, enquanto outros 135 têm captação mista. Uma das formas que poderiam contribuir para manter as reservas de água no solo é, como sugerida por Bower (2002) e Hespanhol (2008), a recarga de aquíferos com ART, que pode ser feita por injeção direta ou infiltração no solo. Nesse último caso as características da água sofrem um tratamento natural proporcionado por mecanismos de filtração, adsorção e biodegradação, resultando na redução de partículas em suspensão, de teores residuais de compostos orgânicos e de microrganismos.

A recarga indireta por infiltração é um método interessante para a gestão de volumes extraídos em áreas de sobre-exploração do recurso, bem como funciona como um processo de tratamento de afinação (HESPANHOL, 2008). A infiltração rápida em bacias de infiltração permite a afinação do efluente no solo, tal qual um filtro (é o chamado *soil aquifer treatment* – SAT), removendo eficientemente poluentes orgânicos, nitrogênio, fósforo, metais pesados e microrganismos patogênicos (HESPANHOL, 2002; ASANO *et al.*, 2007). Okpala (2011) realizou um estudo sobre recarga de aquíferos no Aeroporto Internacional Governador André Franco Montoro, São Paulo, tendo concluído que o solo pode ser utilizado para a infiltração de ART, mas é necessário substituir a sua camada superficial por uma camada de areia grossa.

A definição de uma metodologia para a infiltração de ART requer coleta, tratamento e análise de informações complexas, tais como tipo e ocupação do solo, características do aquífero, restrições legais e ambientais, características das ART e acessibilidades. O uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) pode ser vantajoso para a escolha dos locais mais adequados para a infiltração, uma vez que permite georreferenciar, armazenar e tratar a informação, possibilitando a criação de áreas de exclusão e de potencial utilização por meio de análise multicritério, como observado no estudo de Pedrero *et al.* (2011). A aplicação de SIG têm sido efetuada para avaliar a vulnerabilidade das águas subterrâneas à poluição por nitratos (LAKE *et al.*, 2003), na criação de cartas de aptidão para aplicação de lamas de tratamento de efluentes da pasta do papel na agricultura (RIBEIRO *et al.*, 2010), para identificar a localização de ETE (GEMITZI *et al.*, 2007) e na recarga de aquíferos (KALLALI *et al.*, 2007; PEDRERO *et al.*, 2011).

Este estudo foi realizado na região da Beira Interior (Portugal), com abundância de solos residuais graníticos e onde se tem observado déficit hídrico nos meses do verão e em anos secos. O objetivo principal do trabalho consistiu na identificação de locais para a infiltração

de ART, utilizando uma análise multicritério baseada em SIG, bem como na coleta de solo para avaliar a sua aptidão para receber ART.

METODOLOGIA

Identificação de locais para infiltração de águas residuárias tratadas

Para a seleção da área de estudo (Figura 1), foi considerado o limite superior do perímetro de proteção das Termas do Cró, no distrito da Guarda, e nordeste da região da Beira Interior, Portugal, onde predominam solos residuais graníticos. A ART para infiltração foi proveniente da ETE de Vila Fernando. O clima é continental, com precipitação média anual de 780 mm, evapotranspiração média de 700 mm, com déficit de água no período de junho a setembro. A temperatura média é de 10,7°C (SILVA, 2011). Levou-se em conta uma área de 6.687 ha, constituída por solos com espaços naturais e seminaturais (28,17%), culturas temporárias de sequeiro (1,87%), florestas abertas, cortes e novas plantações (30,61%), florestas de folhosas (5,29%), matos (1,51%), pastagens permanentes (2,67%), sistemas culturais e parcelares complexos (21,64%) e vegetação herbácea natural (8,24%), classificadas de acordo com a *European Environment Agency* (EEA, 2006).

A ART avaliada na pesquisa foi oriunda da ETE Vila Fernando, tendo sido utilizados dados de vazão e parâmetros físicos, químicos e microbiológicos para avaliar o seu potencial para infiltrar no solo, nomeadamente pH, temperatura, demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅), demanda química de oxigênio (DQO), sólidos suspensos totais (SST), nitrogênio amoniacal (N-NH₄), nitrogênio nítrico (N-NO₃), nitrogênio total (NT), fósforo total (PT), condutividade elétrica (CE), sódio (Na), cálcio (Ca), potássio (K), cloro (Cl), magnésio (Mg), boro (B), cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), níquel (Ni), chumbo (Pb), zinco (Zn), coliformes totais (CT), coliformes fecais (CF), *Escherichia coli* e ovos de helminto (OH).

Para gerar uma carta de solos com aptidão para infiltração de ART, utilizaram-se seis cartas temáticas (origens de água, aglomerados urbanos, ocupação do solo, tipo de solo, declives e distância da ETE), restrições ambientais, econômicas e técnicas, além de uma análise multicritério baseada em SIG (usando o *software* ArcGIS 9.3 e aplicativos ArcCatalog, ArcMap e ArcToolbox).

Os critérios de restrições utilizados nesta pesquisa foram adaptados de Silva (2011). São eles:

- ambientais: para evitar a contaminação por infiltração de ART, considerou-se a distância de segurança de 50 m para captações de água para rega e 100 m para captações de água para consumo humano (linhas de água e depósitos de água), além de uma distância de 200 m para aglomerados populacionais, para salvaguardar essas áreas de possíveis contaminações;

- econômicos: a distância máxima entre a ETE e o local de aplicação devia ser de 8 km, de modo a diminuir os custos de transporte das ART;
- técnicos: carta de declives (as áreas para infiltração deveriam ter declive inferior a 12%, pois declives mais elevados aumentam o escoamento e a erosão do solo), carta de uso ou de ocupação do solo, textura do solo (para evitar a colmatção do solo e assegurar o adequado polimento da água residual, o solo precisa ter menos de 10% de argila), tipo de solo (o solo para infiltração de ART não deve ter rocha no topo, uma vez que grande parte da melhoria da qualidade da água reutilizada ocorre no primeiro metro de solo), profundidade do aquífero (deve ser suficientemente profundo e transmissivo para prevenir aumentos excessivos de água no solo por conta da infiltração).

O procedimento de cálculo envolveu a definição, em cada carta temática, de áreas de exclusão (não estando de acordo com os critérios de infiltração, codificados com “0”) e áreas de inclusão (de acordo com os critérios de infiltração, codificados com “1”), e posterior sobreposição das cartas temáticas para efetuar uma operação booleana em matriz (como sugerido por Kallali *et al.*, 2007) sobre a área, mediante operações algébricas de mapas, tendo resultado uma carta final, designada de *Carta de Aptidão*, com áreas de inclusão (onde seria possível

infiltrar ART) e de exclusão (onde não se deve infiltrar ART), como mostram Silva *et al.* (2012).

Coleta e caracterização de solos residuais

Num dos locais indicados como adequados para infiltração de ART, foi coletada uma amostra de solo de forma aleatória, e realizaram-se ensaios *in situ* e em laboratório (com três repetições), para a determinação das seguintes propriedades físicas: peso específico nos estados natural (γ_o) e seco (γ_d), teor de água natural (w_o), índice de vazios (e) e porosidade (n), de acordo com os procedimentos descritos por Duarte (2002). Em laboratório, efetuou-se a análise granulométrica, seguindo a Especificação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) E 239 (LNEC, 1970), desenvolvendo-se ainda a análise da fração inferior a 0,075 mm, seguindo a Especificação do LNEC E 196 (LNEC, 1966). Foram determinados os limites de consistência, nomeadamente o limite de liquidez (LL) e o limite de plasticidade (LP), seguindo a Norma Portuguesa NP-143 (NP, 1969). A classificação geotécnica seguiu o Sistema Unificado ASTM D 2487-85 (ASTM, 1985).

Determinou-se ainda a densidade das partículas sólidas (G_s), seguindo a Norma Portuguesa NP-83 (NP, 1965), e a permeabilidade (k) em laboratório, por intermédio do permeâmetro de carga constante, com a metodologia encontrada em Duarte (2002). O teor em matéria orgânica do solo foi determinado pelo método de Walkley-Black,

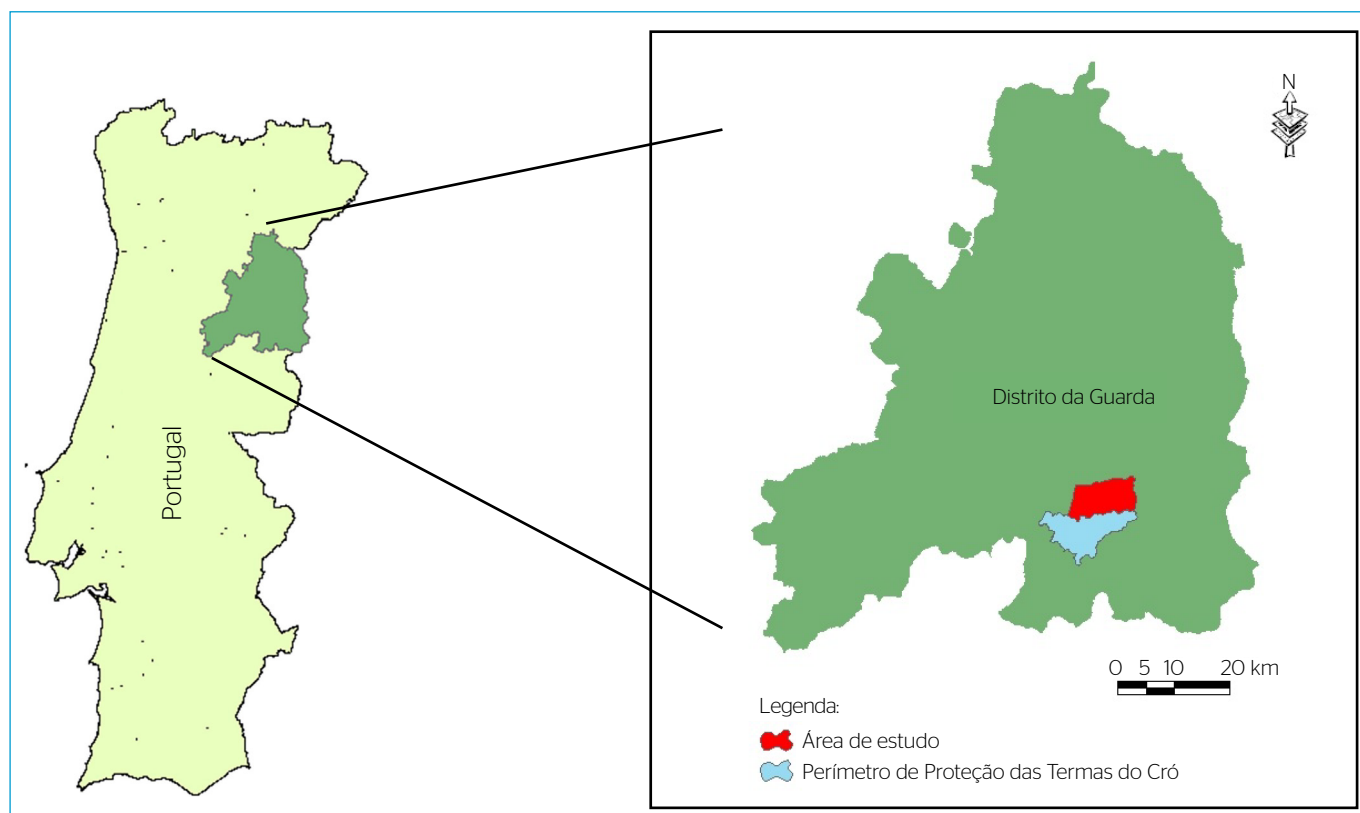


Figura 1 - Localização da área de estudo.

descrito por Nelson e Sommers (1996); o pH, estabelecido como relatado por Van Reeuwijk (2002); a capacidade de troca catiônica (pelo método acetato de amônio tamponizado a pH 7), detalhada em Houba *et al.* (1995); e a superfície específica (fração de solo < 0,075 mm), recorrendo ao analisador de partículas (Coulter LS 200). Procedeu-se ainda à determinação da composição em óxidos por meio de espectroscopia de energia dispersiva (EDS) com um equipamento Hitachi, modelo S-2700 (Estados Unidos).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Localização de solos para infiltração de águas residuárias tratadas

Na Figura 2, apresentam-se as seis cartas temáticas (origens de água, aglomerados urbanos, ocupação do solo, tipo de solo, declives e distância da ETE), e a Figura 3A traz a *Carta de Aptidão* final com a localização das áreas potenciais para infiltração de ART, bem como o local selecionado para infiltração de ART no solo (Figura 3B), perto da Quinta de Gonçalo Martins (Guarda, Portugal) e a amostra de solo coletada (Figura 3C).

Atendendo às diversas variáveis estudadas e analisadas, dos 6.687 ha, estimou-se uma área para infiltração de ART de 6,4 ha. As variáveis mais restritivas são a área referente à ocupação do solo (apenas 100 ha podem ser utilizados), e a área referente às origens de água (apenas 848 ha podem ser utilizados).

Os resultados das análises físico-químicas e microbiológicas da ART (apresentadas em Silva *et al.*, 2012) permitem verificar que as concentrações de NT, N-NH₄ e PT seriam elevadas para descarga em cursos de água ou utilização em irrigação agrícola e que as concentrações de compostos inorgânicos e a carga microbiológica são similares às dos efluentes secundários caracterizados por Monte e Albuquerque (2010). Se o reuso fosse para fins agrícolas, urbanos, industriais ou paisagísticos, tendo em atenção os limites admissíveis em vários estudos (MONTE & ALBUQUERQUE, 2010; ASANO *et al.*, 2007), a ART necessitaria de um tratamento complementar para reduzir as cargas de nitrogênio, de fósforo e microbiológica, previamente ao seu reuso. Assim, a sua infiltração no solo, além de possibilitar um tratamento de polimento na parte vadosa e a recarga de aquíferos, evitaria investimentos na ETE para incluir um tratamento de polimento.

Quando a infiltração é efetuada à superfície do solo ou na área não saturada (área vadosa), grande parte da matéria orgânica e formas de nitrogênio, fósforo e metais pesados são removidas ou convertidas no primeiro metro de solo (ASANO *et al.*, 2007). Oliveira *et al.* (2014), pesquisando em solo brasileiro, cambisol cultivado com pimenta vermelha, verificaram que até 60 cm de profundidade os metais cobre, zinco, ferro e manganês foram influenciados pela

aplicação do efluente tratado. Ou seja, o solo funciona como um sistema de tratamento por meio poroso (designado por SAT) (MONTE & ALBUQUERQUE, 2010).

A maior preocupação reside nos nitratos, que resultam da oxidação do amônio, e na carga bacteriológica. Souza *et al.* (2011) realizaram pesquisa em Viçosa, Minas Gerais, Brasil, utilizando Cambissolo Háplico Tb distrófico latossólico e constataram que a contaminação por coliformes fecais na superfície foi mínima e sem risco para a saúde do homem, chegando à ausência de contaminação a 1 m de profundidade. Se a área de infiltração se localizar em solos arenosos permeáveis, com afastamento do nível freático de inverno superior a 5 m (isto é, altura mínima da parte não saturada de 5 m) (KALLALI *et al.*, 2007), permitindo a aplicação de taxas de infiltração entre 0,2 e 1,0 m.d⁻¹, a concentração final de matéria orgânica, nitrogênio amoniacal, nitritos, nitratos, SST, metais pesados e carga bacteriológica será reduzida significativamente (ASANO *et al.*, 2007).

No Brasil, é existente a preocupação com o nitrato. Cabral *et al.* (2009), avaliando o comportamento do nitrato em poços do aquífero Dunas/Barreiras na cidade de Natal, Rio Grande do Norte, Brasil, perceberam que no bairro densamente povoado e com histórico mais antigo de ocupação e ausência de sistema de saneamento apropriado os valores de nitrato estavam acima de 10 mg.L⁻¹. Couto *et al.* (2013) desenvolveram estudos em escala piloto, infiltrando lixiviado de aterro sanitário em uma coluna de 15 cm de diâmetro com 130 cm de leito filtrante e obtiveram um filtrado com teor de 8 mg.L⁻¹ de nitrato. Miranda *et al.* (2002) estudaram o acúmulo progressivo no solo decorrente da irrigação de cobertura vegetal por esgoto doméstico tratado, e os resultados obtidos mostraram que não existe problema de colmatção ao longo do tempo com a disposição de esgoto no solo arenoso, em razão da sua alta permeabilidade e da baixa capacidade de troca de cátions.

Na área em estudo, a profundidade do aquífero varia entre 10 e 50 m (PEDRERO *et al.*, 2011). Sendo assim, o local mais adequado para a localização de bacias de infiltração deve ser uma área com solo arenoso e fino que permita velocidade de infiltração da ordem de 1 m.d⁻¹, apropriada para a infiltração de ART no solo, ou até superior, uma vez que a altura da parte não saturada é superior a 10 m, marcada na cor verde na Figura 3A.

Caracterização do solo residual

Os resultados dos ensaios realizados *in situ* e em laboratório estão na Tabela 1. Verifica-se que são típicos de solos residuais de granito, como apresentado em Fernandes (2011) e Duarte (2002).

O solo classifica-se como areia siltosa (SM) com cascalho (ASTM D 2487-85), com percentagem considerável de areia. A percentagem de argila é muito baixa, menos de 5%, o que significa que a maior parte dos finos é essencialmente siltosa. De acordo com

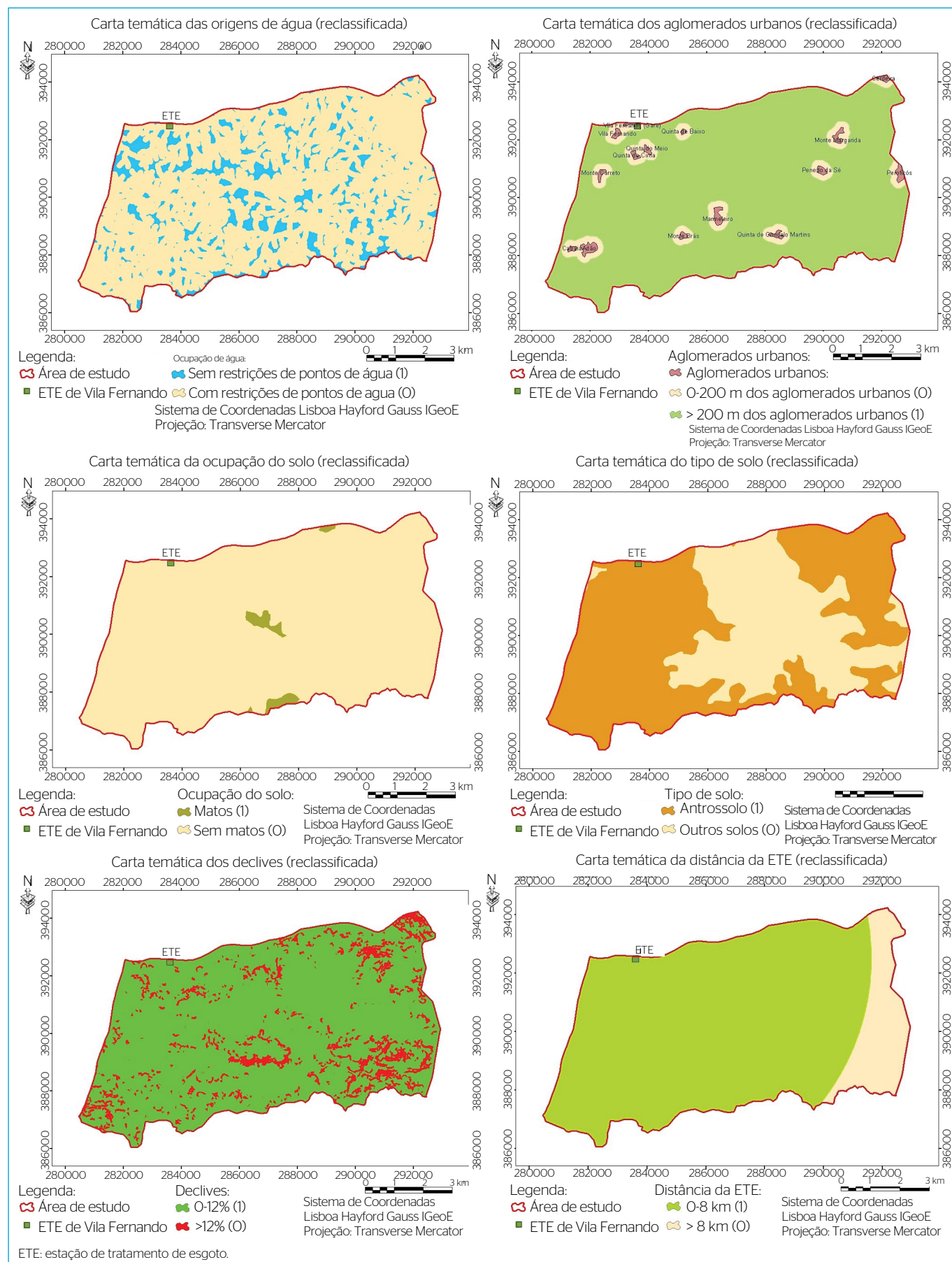


Figura 2 - Cartas temáticas utilizadas na pesquisa.

Kallali *et al.* (2007), para evitar a colmatção dos solos e assegurar o tratamento da água residual, o solo não deve ter mais do que 10% de argila. É um solo que contém granulometria extensa, sendo bem graduado. Tem baixa plasticidade, o que está de acordo com a reduzida percentagem de argila observada (a argila existente é pouco ativa).

A porosidade é média (IAEG, 1979), propriedade de grande importância no estudo do transporte e da remoção de poluentes no solo, uma vez que o volume útil para reação inclui o volume de vazios e uma fração que representa o biofilme que se desenvolve à volta dos grãos. As características hidrodinâmicas associadas ao escoamento no solo (advecção, difusão molecular e dispersão) são também influenciadas pela variação da porosidade. A densidade das partículas sólidas é típica de solos residuais de granito. O solo é pobre em matéria orgânica (o teor desse parâmetro é muito baixo) e ácido (pH baixo), o que está de acordo com o observado por Ribeiro *et al.* (2010) para solos da Beira Interior. A capacidade de troca catiônica é baixa (LQARS, 2006), favorecendo mais a permuta do catião Ca^{2+} , em relação a Mg^{2+} , K^+ e Na^+ , enquanto a superfície específica (na fração $< 0,075$ mm) é bastante reduzida e típica de siltes. A permeabilidade (k) desse solo é considerada média, o que é característico de solos arenosos com silte. Solos com permeabilidade da ordem de 25 mm.h^{-1} são apropriados para infiltração rápida (MONTE & ALBUQUERQUE, 2010). A taxa de infiltração em bacias de infiltração pode variar entre 1 e

Tabela 1 - Caracterização física e geotécnica do solo residual de granito.

Parâmetro	Valor
Peso específico natural (γ_o)	17,52 KN.m^{-3}
Teor em água natural (w_o)	10,45%
Índice de vazios (e)	0,63
Porosidade (n)	38,47%
Peso específico seco (γ_d)	16,0 KN.m^{-3}
Granulometria:	
Argila ($< 0,002$ mm)	4,94%
Silte ($0,002 - 0,06$ mm)	16,55%
Areia ($0,06 - 2,00$ mm)	56,80%
Cascalho ($2,00 - 60$ mm)	21,71%
Classificação unificada	Areia siltosa com cascalho
Limite de liquidez	31,0%
Limite de plasticidade	29,6%
Índice de plasticidade	1,39%
Densidade das partículas sólidas (G_s)	2,65
Superfície específica da fração $< 0,075$ mm	$0,28 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$
Matéria orgânica	0,25%
Capacidade de troca catiônica a pH 7	$6,09 \text{ cmol}_c.\text{Kg}^{-1}$
pH em H_2O	4,91
Coefficiente de permeabilidade (k), em laboratório	$3,23 \times 10^{-5} \text{ m.s}^{-1}$

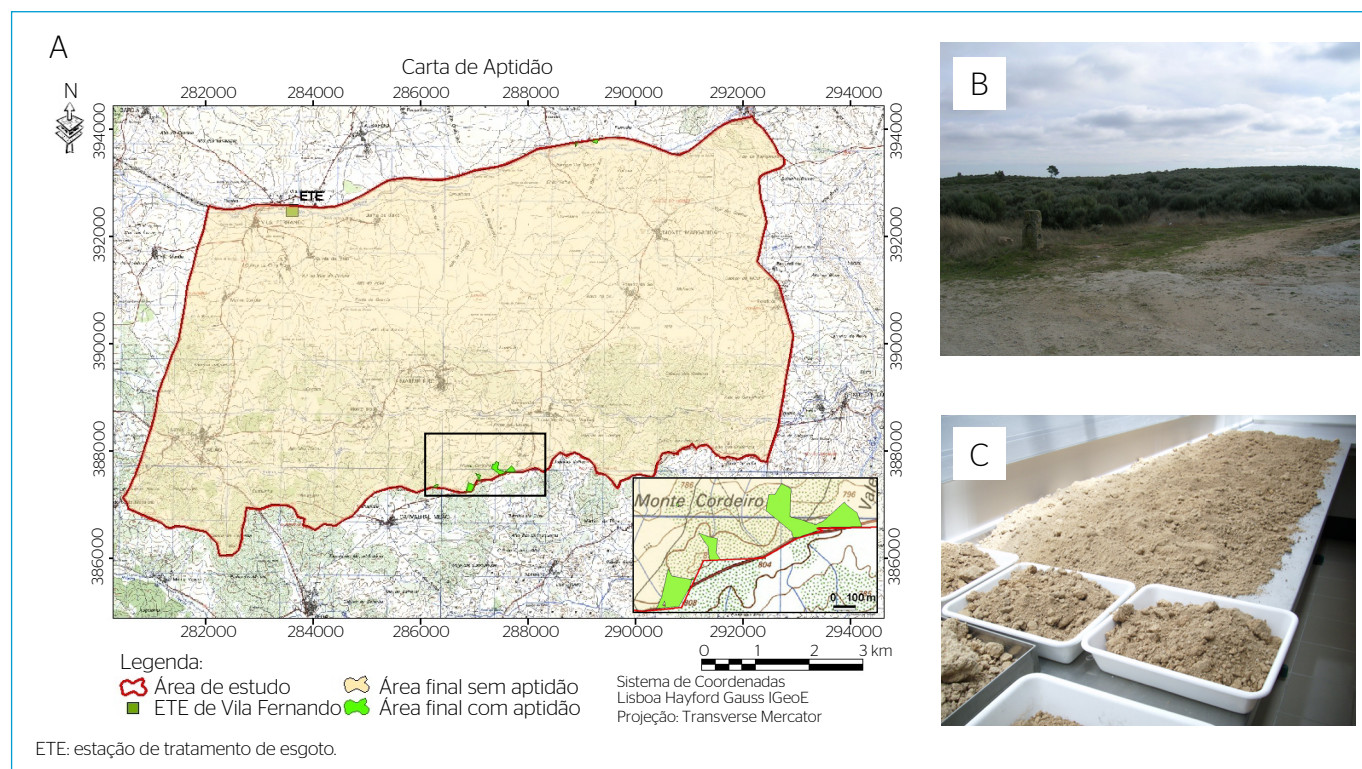


Figura 3 - Carta de Aptidão para infiltração de águas residuárias tratadas (A), local selecionado para infiltração de águas residuárias tratadas no solo (B) e amostra de solo residual recolhida em um dos locais selecionados (C).

4 Mm³.ha⁻¹.ano⁻¹ (BOWER, 1991), o que corresponde à infiltração de 0,2 e 1 md⁻¹ durante o ciclo de carga.

A composição em óxidos é apresentada na Tabela 2, verificando-se que se assemelha à de solos residuais de granito caracterizados por Duarte (2002), no entanto exibiu valor superior de Al₂O₃, o que indica a predominância de caulinite. O solo analisado neste estudo contém essencialmente sílica e alumina, o que era esperado, dado que as

Tabela 2 - Caracterização química do solo residual de granito em percentagem de óxidos

Oxidos	Valor (%)
SiO ₂	58,64
Al ₂ O ₃	33,17
Fe ₂ O ₃	3,96
K ₂ O	4,23
CaO	ND
Na ₂ O	ND

ND: pesquisado, mas não detectado.

argilas e siltes têm estrutura aluminossilicatada, com teores menos elevados de ferro e de potássio.

CONCLUSÕES

Com base nas cartas temáticas e nas restrições de natureza ambiental, econômica e técnica, com recurso de uma análise multicritério em SIG, obteve-se uma *Carta de Aptidão* que indica uma área favorável de 6,4 ha para a infiltração de ART em solos residuais de granito provenientes da Quinta de Gonçalo Martins. O reuso de ART de uma pequena ETE localizada em Vila Fernando, uma área rural do Concelho da Guarda (Portugal), pode assim constituir uma fonte de água alternativa para a recarga de aquíferos. Os resultados das análises do solo residual sugerem que esse solo apresenta características adequadas à infiltração de ART, sendo necessário elaborar estudos complementares em coluna laboratorial para determinar a velocidade de infiltração mais adequada para o transporte e a remoção dos constituintes das ART e a forma de remoção dos poluentes ainda presentes na ART.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM – D 2487-85. (1985) *Standard practice for classification of soils for engineering purposes*. West Conshohocken: ASTM International.
- ASANO, T.; BURTON, F. L.; LEVERENZ, H. L.; TSUCHIHASHI, R.; TCHOBANOGLIOUS, G. (2007). *Water reuse: issues, technologies and applications*. Nova York: McGraw-Hill.
- BOWER, H. (1991). Role of groundwater recharge in treatment and storage of wastewater for reuse. *Water Science Technology*, v. 24, n. 9, p. 295-302.
- BOWER, H. (2002). Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering. *Hydrogeology Journal*, v. 10, n. 1, p. 121-142.
- CABRAL, N. M. T.; RIGHETTO, A. M.; QUEIROZ, M. A. (2009). Comportamento do nitrato em poços do aquífero Dunas/Barreiras em Natal/RN. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 14, n. 3, p. 299-306.
- COUTO, M. C. L.; BRAGA, F. S.; LANGE, L. C. (2013). Tratamento de lixiviado por infiltração rápida como alternativa para cidades de pequeno porte. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 18, n. 3, p. 223-234.
- DUARTE, I. M. R. (2002). *Solos residuais de rochas granitóides a sul do Tejo: características geológicas e geotécnicas*. Tese (Doutorado em Geologia de Engenharia) – Universidade de Évora, Évora, Portugal.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY – EEA. (2006). *Corine Land Cover seamless vector data*. Disponível em: <<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/clc-2006-vector-data-version-3#tab-gis-data>>. Acesso em: 18 nov. 2014.
- FERNANDES, M. M. (2011). *Mecânica dos solos: conceitos e princípios fundamentais*. 2. ed. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. v. 1. 463 p.
- GEMITZI, A.; TSIHRINTZIS, V. A.; CHRISTOU, O.; PETALAS, C. (2007). Use of GIS in siting stabilization pond facilities for domestic wastewater treatment. *Journal of Environmental Management*, v. 82, n. 2, p. 155-166.
- HESPAHOL, I. (2002). Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 7, n. 4, p. 75-95.
- HESPAHOL, I. (2008). Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. *Estudos Avançados*, v. 22, n. 63, p. 131-158.
- HOUBA, V. J. G.; VAN DER LEE, J. J.; NOVOZAMSKY, I. (1995). *Soil analysis procedures: other procedures*. Department of Soil Science and Plant Nutrition. Wageningen: Wageningen Agricultural University, Holanda.
- INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY – IAEG. (1979). Classification of rocks and soils for engineering geological mapping. Part I: rock and soil materials. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, v. 19, n. 1, p. 364-371.
- KALLALI, H.; ANANE, M.; JELLALI, S.; TARHOUNI, J. (2007). GIS-based multi-criteria analysis for potential wastewater aquifer recharge sites. *Desalination*, v. 215, n. 1-3, p. 111-119.
- LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL – LNEC. (1970). *Especificação E 239-1970*. Solos. Análise granulométrica por peneiração húmida. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

- LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL – LNEC. (1966) *Especificação E 196-1966*. Solos. Análise granulométrica. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- LABORATÓRIO QUÍMICO AGRÍCOLA REBELO DA SILVA – LQARS. (2006). *Manual de fertilização das culturas*. Lisboa: Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária. 282 p.
- LAKE, I. R.; LOVETT, A. A.; HISCOCK, K. M.; BETSON, M.; FOLEY, A.; SÜNNENBERG, G.; EVERS, S.; FLETCHER, S. (2003). Evaluation factors influencing groundwater vulnerability to nitrate pollution: developing the potencial of GIS. *Journal of Environmental Management*, v. 68, n. 3, p. 315-328.
- MIRANDA, J. R. P.; CARVALHO, J. G.; SANTOS, D. R.; FREIRE, A. L. O.; BERTONI, J. C.; MELO, J. R. M.; CALDAS, A. L. (2002). Silício e cloreto de sódio na nutrição mineral e produção de matéria seca de plantas de moringa (*Moringa oleifera* LAM.). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 26, n. 4, p. 957-965.
- MONTE, H. M. & ALBUQUERQUE, A. (2010). *Reutilização de águas residuais*. Guia Técnico, n. 14. Lisboa: Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos. 339 p.
- NELSON, D. W. & SOMMERS, L. E. (1996). Total carbon, organic carbon and organic matter. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENY, D. R. *Methods of soil analysis: chemical methods*. Part 3. Madison: Soil Science Society of America. p. 961-1010.
- NORMA PORTUGUESA 83 – NP-83. (1965). *Determinação da densidade das partículas*. Lisboa, Portugal.
- NORMA PORTUGUESA 143 – NP-143 (1969). *Determinação dos limites de consistência*. Lisboa, Portugal.
- OKPALA, W. O. (2011). *Recarga gerenciada do Aeroporto Internacional Governador André Franco Montoro e Guarulhos/SP: estudo piloto do sistema solo-aquífero*. 266 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo.
- OLIVEIRA, A. F. M.; FERNANDES, F. G. B. C.; BATISTA, R. O.; DI SOUZA, L.; GURGEL, M. T. (2014). Teores de metais pesados em cambissolo irrigado com água residuária doméstica e água de poço. *Revista Ambiente e Água*, v. 9, n. 2, p. 302-312.
- Pedrero, F.; Albuquerque, A.; Monte, H. M.; Cavaleiro, V.; Alarcón, J. J. (2011). Application of GIS-based multi-criteria analysis for site selection of aquifer recharge with reclaimed water. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 56, n. 1, p. 105-116.
- RIBEIRO, P.; ALBUQUERQUE, A.; QUINTA-NOVA, L.; CAVALEIRO, V. (2010). Recycling pulp mill sludge to improve soil fertility using GIS tools. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 54, n. 12, p. 1303-1311.
- RIGHETTO, A. M. & ROCHA, M. A. (2005). Exploração sustentada do aquífero Dunas/Barreiras na Cidade de Natal, RN. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 10, n. 2, p. 27-38.
- SILVA, F.; ALBUQUERQUE, A.; MONTE, H. M.; CAVALEIRO, V.; CARVALHO, A. (2012). Site selection for reclaimed water infiltration using GIS tools. In: *IWA Regional Conference on Wastewater Purification and Reuse*. Atas... Creta: IWA.
- SILVA, F. C. M. (2011). *Estudo do potencial de recarga de aquíferos com águas residuais tratadas utilizando Sistemas de Informação Geográfica*. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade da Beira Interior, Covilhã.
- SOUZA, J. A. A.; BATISTA, R. O.; RAMOS, M. M.; SOARES, A. A. (2011). Contaminação microbiológica do perfil do solo com esgoto sanitário. *Acta Scientiarum Technology*, v. 33, n. 1, p. 5-8.
- VAN REEUWIJK, L. P. (2002). *Procedures for soil analysis*. 6. ed. Wageningen: ISRIC, FAO.
- WERNER, A. D. (2010). A review of seawater intrusion and its management in Australia. *Hydrogeology Journal*, v. 18, n. 1, p. 281-285.